绿洲-荒漠共生关系实验模拟平台（绿洲-荒漠平台）

李 彦* 郑新军 王玉刚 徐贵青 刘 冉

中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011

摘 要 准噶尔盆地是温带内陆干旱区的典型区域，周围高大山地形成径流，流入盆地后造就了绿洲。绿洲和荒漠存在着相互依存关系：绿洲需要通过排水带走自然富集的盐分，而排水给其外围荒漠植被提供水分与养分，外围荒漠植被反过来为绿洲提供了生态屏障。随着绿洲土地开发规模不断加大，节水措施大范围应用，绿洲排水急剧减少。这一方面导致盐分外泄不畅，绿洲积盐；另一方面致使地下水位剧烈下降，绿洲外围、沙漠边缘的植被受到威胁——绿洲-荒漠共生关系面临根本性的危机。在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目的支持下，新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站在天山北麓三工河流域建成了“绿洲-荒漠共生关系实验模拟平台”，该平台由绿洲土壤盐分累积与荒漠地下水位模拟子平台、地下水位与荒漠植被关系子平台、沙漠内部降水与荒漠植被关系子平台3个子平台构成，形成了完整的绿洲-荒漠共生关系实验模拟体系。该平台能够满足绿洲区不同灌溉情景下水盐动态长期变化、绿洲边缘荒漠植被变化与地下水位关系、沙漠内部自然植被与降水变化关系的研究需求，为回答绿洲和荒漠生态系统共生关系的关键科学问题提供了重要基础设施支撑。

关键词 绿洲-荒漠，盐分，地下水位，荒漠植被，共生关系

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20211108001

1 绿洲-荒漠平台建设的目的和意义

我国西北干旱区地处欧亚大陆腹地，远离海洋，降水稀缺，荒漠广布，是北半球温带干旱区的中心区域。山盆结构是西北干旱区的最大特点，发源于盆地四周的高大山地的内陆河，流出山口后，在其两岸或冲洪积扇区域直至尾闾地区补给浅层地下水，造就了以潜水为主要水源的河岸林及其林下或外围荒漠灌丛群落。这些分布于盆地四周和河流两岸的天然绿洲生态系统是该区域内人类最早的定居点和灌溉农业发起

*通信作者

资助项目：中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目（KFJ-SW-YW008）
修改稿收到日期：2021年11月21日

点。

由于潜在蒸发量巨大、降水稀少，绿洲农业生产离不开灌溉。而灌溉水从来不是蒸馏水，盐分聚集不可避免，灌溉农业从来都伴随着盐渍化的威胁。去除盐渍化危害的途径是在绿洲内部构建通畅的排碱沟渠系统，将盐分随水输送到绿洲外围。这些排盐产生的农业尾水能够被各种耐盐碱的荒漠灌木所利用[1,2]，作为生态用水维持了外围荒漠的生存与绿洲系统的稳定。因此，只要农业灌溉用水/生态用水（洗盐排出的水量）比例在一定合理范围内，干旱区绿洲-荒漠系统就能可持续发展。

然而，随着人口的增加和科学技术的进步，人类对于自然资源的需求急剧增加，人口、资源和环境之间的矛盾越来越难以调和。这种矛盾在干旱地区更加突出：伴随着膜下滴灌等节水灌溉方式的普及，灌溉水利用效率快速提高，不再产生农业尾水；许多联通绿洲内、外的排碱沟渠系统已经被废弃，绿洲外围荒漠灌木生存所需的浅层地下水资源逐渐枯竭。伴随着生态用水的急剧消减，作为天然防护林的外围灌丛大量消失，即使仍然存在的一些灌木群落，水分状况的恶化也使其幼苗更新困难，种群不可持续。

以西北干旱区荒漠植被的主要建群种梭梭为例：研究显示，在每年5—9月生长旺季，地下水为梭梭贡献了近100%的水源[1]。显然，绿洲农业灌溉方式的转变对地下水埋深的影响，很可能会对自然梭梭灌丛地的存续产生严重不良后果，进而危及绿洲生态安全乃至绿洲的存续。此外，在准噶尔盆地绿洲外围还分布着其他重要灌丛林地，这些灌丛林地的主要维持水源是否以地下水为主，还不得而知。这些灌丛地生物种类丰富，灌丛类型和组合多样，虽然从表面来看，地表植被稀疏，灌丛之间存在较大的空间，不可能存在为了光照而产生地上竞争。但水是干旱区植物生长的最主要限制因子，植物地下根系对水的竞争不可避免。当冠层闭合植被群落如森林中的树木在为争夺阳光，努力向上生长进行“军备竞赛”时[3,4]，荒漠灌木也在为了获得稳定的水源而悄无声息地加速向下延伸。对于植物来说，在冠层闭合环境中，拥有比邻居更高的树冠意味着获得更多的光线，同时遮挡了邻居获得阳光的可能[5,6]。同样，在干旱开放环境中，拥有比邻居更深的主根意味着吸收更多水分支持自身生长，同时降低了邻居吸收水分的可能。正如森林中的树木，并非树干最高就是最经济[7,8]；同样地，荒漠区中的灌丛也不是主根延伸最深就最经济。拥有高大的树冠和庞大的根系，都需要大量的光合产物投入来维持；其实，只要达到合适的投入产出比例，量入为出地合理构建根冠比，达到资源最优配置就可以在竞争中胜出[9]。构建不同的根冠比，意味着在竞争中采取不同的竞争策略[10]。各种不同根冠比物种出现在同一群落中，形成带谱，也许是荒漠灌丛生态系统维持生物多样性的机制。毫无疑问，在干旱区，地下资源格局和丰度从根本上决定着荒漠生态系统的结构和功能，但在这一领域我们依然有太多的未知尚待探索，因而难以准确认知和预测生态危机。

绿洲外围大量灌丛地面临的生存危机，关乎我国西北干旱区乃至中亚地区生态安全、经济社会的可持续发展与人民的福祉。荒漠灌丛植物水分关系及荒漠灌丛维持机制，不仅是当今世界荒漠生态学研究前沿，同时对当地生态环境建设和社会可持续发展具有紧迫的现实意义。以绿洲-荒漠区水盐运移-植被动态的相互关系为核心，建立绿洲-荒漠系统长期实验研究平台；在绿洲区监测研究水盐动态、量化盐分累积速率，以预测不同灌溉情景下盐分灾变发生的时限；在边缘荒漠监测研究植被动态-地下水位关系，以量化地下水位下降时植被退化速率，预测植被退化的下限及其发生时限。经过几年、几十年的积累，定量揭示绿洲-荒漠系统实现共生共存的最低农田排水需求，以确定当地下水供给消失后荒漠植被是否能继续履行绿洲生态屏障的功能，可为干旱区可持续发展作出实实在

在的重要贡献。

利用成熟的土壤水分/盐分传感器、地下水位/水质传感器、雨量传感器等生态环境参数测量传感器，以及数据采集传输技术，结合蒸渗仪（Lysimeter）、地下水位观测井、遮雨棚等普遍使用的野外实验设施，设计不同规格和功能的 Lysimeter 群、地下水观测井群、遮雨棚群，可有效满足长期试验需求。在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目支持下，新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站（以下简称“阜康站”）建设了“绿洲-荒漠共生关系实验模拟平台”（Experiment and Simulation Platform for Oasis-Desert Symbiotic Relationship）（以下简称“绿洲-荒漠平台”，ODP），形成针对各部位核心问题的完整绿洲-荒漠系统共生关系长期定位实验研究平台。绿洲-荒漠平台为解决区域重大需求中的科学问题而自行设计建设，是一个具有独创性的集成科研基础设施平台。

绿洲-荒漠平台是我国首个以荒漠-绿洲共生关系为研究对象的科研平台，不仅能增强阜康站对温带干旱地区陆地表层过程、荒漠植被（荒漠灌丛群落）维持机制、区域水盐运移及其他生物地球化学循环过程的研究能力，还将吸引优秀科学家到阜康站开展联合研究，为开发荒漠生态系统模型、发展荒漠生态理论、提升荒漠生态系统管理和保护能力奠定基础。

2 绿洲-荒漠平台建设的难点及技术创新

绿洲-荒漠共生关系实验研究体系是阜康站能力提升建设的关键性、创新性工作，特别是绿洲-荒漠平台将绿洲-荒漠作为一个相关联的复合体，与宏观生态系统、以水分和盐分等关键要素的传输运移作为 2 个生态系统连接纽带，开展关联性试验和研究，是一种新的尝试。

2.1 平台建设过程中的关键问题

（1）绿洲土壤累积的隐蔽性及其监测问题。现代灌溉技术的优点是按需灌溉，而植物根系又具有自适应功能——只在湿度大、盐度低的区域生长。因此，在相当长的时间内，绿洲区的土壤盐分聚积并不妨碍作物生长，因而难以被认知。事实上，在水分能够入渗的最大深度处，盐分在悄然聚积，逐渐形成盐盘。盐盘一旦形成，几乎无法去除，绿洲农业生产将面临灭顶之灾。因此，绿洲区的研究重点是监测盐盘的形成。但盐盘的形成速度、位置因灌溉水的质和量而异，且因土壤类型、分层结构差异而不同，无法真正实现野外实时监测，即便是个别监测点能够实现实时监测，也不代表全局。因此，硬件装置模拟是当前解决该问题的唯一出路。

（2）绿洲外围荒漠区地下水位下降的时空异质性问题。在我国西北干旱区，绿洲形成于山前冲洪积扇与河流两岸。该区水文地质结构复杂多变，地下水流场不定，地下水位变化时空异质性巨大，因而大范围定位监测代价高昂，无法实际实施。

（3）荒漠灌丛抗逆性强、衰退响应滞后问题。地下水位下降后，依赖地下水生存的荒漠灌丛并不会立即衰退、死亡，而是以其极大的抗逆能力，通过生理调节、个体形态调整，并充分利用水位下降后的土层残存水顽强生存。这一过程可能持续几年乃至几十年，因而荒漠植被的衰退也具有隐蔽性，初期很难被发现。

2.2 解决方法和创新思路

面对以上问题，为了实现平台建设目标，平台研究人员采取了实验模拟装置与野外定位监测相结合的方法，以解决技术困难，实现准确监测。

（1）Lysimeter 盐分监测。绿洲区盐分聚积过程简单，以 Lysimeter 配置不同灌溉量，对盐盘产生及形成过程进行监测。

（2）模拟装置和野外定位实验相结合，实现荒漠地下水位与植被关系监测与模拟。荒漠区的水循环过程复杂，但阜康站所在区域位于绿洲-荒漠衔接处，

土层中有深达几十米的黏土隔离，地下水交换基本断绝。因此，阜康站从绿洲边缘到荒漠腹地的地下水位梯度在过去几十年保持稳定，可以利用空间换时间的方法进行地下水位-荒漠灌丛的关系监测和研究。模拟装置可调节地下水位，定量监测研究地下水位变化时、荒漠灌丛的响应。

3 绿洲-荒漠平台组成与功能

绿洲-荒漠共生关系研究平台包含3个子平台：绿洲土壤盐分累积与荒漠地下水位模拟子平台、地下水位与荒漠植被关系子平台、沙漠内部降水与荒漠植被关系子平台。这3个子平台的监测范围涵盖了绿洲、沙漠边缘、沙漠内部，包括了定位硬件装置模拟与野外定位实验观测2种研究手段，形成了针对绿洲和荒漠各部位核心科学问题的完整绿洲-荒漠系统共生关系长期定位实验研究平台。

3.1 绿洲土壤盐分累积与荒漠地下水位模拟子平台

（1）模拟装置的基础设施。建设完成由30个Lysimeter组成的Lysimeter群（图1），每个Lysimeter面积4 m^2；其中，深度为5 m的Lysimeter 10个，用于模拟荒漠地下水位变化；深度为3 m的Lysimeter 20个，用于模拟绿洲盐分积累。绿洲Lysimeter土柱以当地土分层回填至原始容重。荒漠Lysimeter土柱是从原始荒漠生境中异地取土，分层回填。

（2）土壤溶液提取系统。农田Lysimeter土柱分别在深度20 cm、40 cm、60 cm、80 cm、100 cm、130 cm、160 cm、190 cm、220 cm、250 cm、290 cm处安装土壤溶液提取装置，每个Lysimeter 1套，共安装20套。共配备660只陶土头（用1备2），220个取样瓶及配套高压气管、20套提取器、20套不锈钢支架、1套电动吸引器（图2）等。

（3）农田土柱土壤渗漏量自动监测系统。为农田土柱配备渗漏量自动监测系统共20套。包含20套有机玻璃渗漏桶、40个电动阀门、控制及采集系统、配套气管接头配件等（图3）。

（4）观测地下室及其配套设备。整个模拟系统以地上种植、地下观测形式配置。工程地下层数1层，净宽度为11.8 m，净长度43.3 m；工程现场浇筑钢筋混凝土结构，完全防水，抗震级别达到11级。

（5）自动监测系统。Lysimeter土体剖面配置土壤水分、温度、电导率原位测定系统。采用一体化数据控制软件，对Lysimeter数据文件进行管理和运行







图1　绿洲土壤盐分累积与荒漠地下水位模拟子平台

Figure 1　The sub-set of the platform for simulation of salt accumulation in oasis and desert

（a）地上地块及植物生长状况；（b）地下自动监控设施

(a) Plants growth condition; (b) Automatic control and monitoring



图2　土壤溶液提取系统

Figure 2　Soil solution collecting system

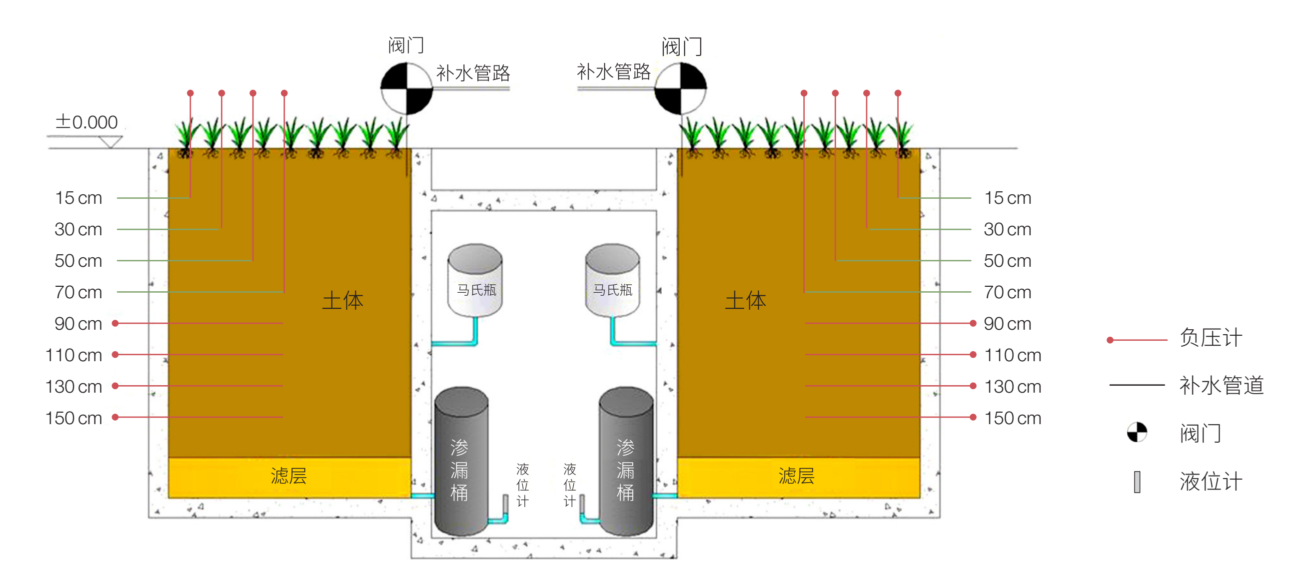


图 3　农田土柱土壤渗漏量自动监测系统

Figure 3　Automatic system for collecting drainage from agricultural soil column

维护（图4）。

3.2 地下水位与荒漠植被关系子平台

该子平台初始设计为由抽水井群、地下水位监测网、土壤水分监测系统、植被生理生态监测系统等单元组成，但该区域砂质土层厚达 100 m，工程开挖面跨度大、土体松散、稳定性差，工程存在较大危险性，甚至无法实施。因此，对原方案进行了修改：在模拟系统中增加 5 m 荒漠土柱，在不同深度布置温度、湿度和电导率数据的探头，在土柱底部联通自动补水装置，模拟不同地下水位。通过种植梭梭模拟荒漠植被与地下水位关系。通过调节地下水埋深和地下水位变化速率，监测梭梭生长和生活状况。另外，利用在绿洲边缘原有的 10 口观测井，向沙漠腹地沿地下水位梯度新布设 16 口地下水位观测井，形成地下水长期观测样带，同步在 8 个点测定建立植物动态监测样地，监测跟踪研究地下水与植被的关系（图5）。

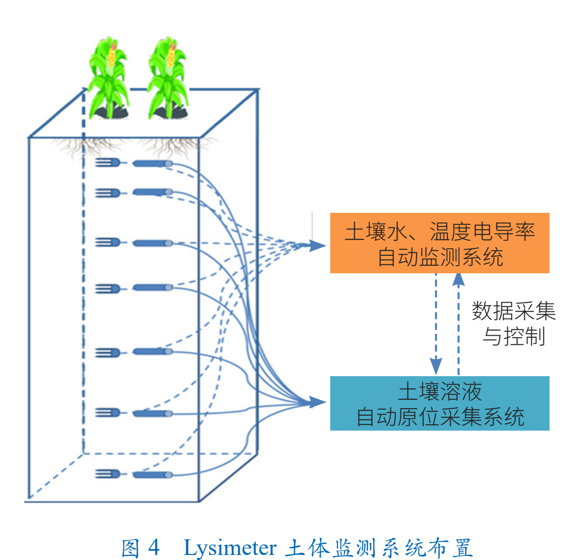


图 4　Lysimeter 土体监测系统布置

Figure 4　Arrangement of monitoring sensors in Lysimeter

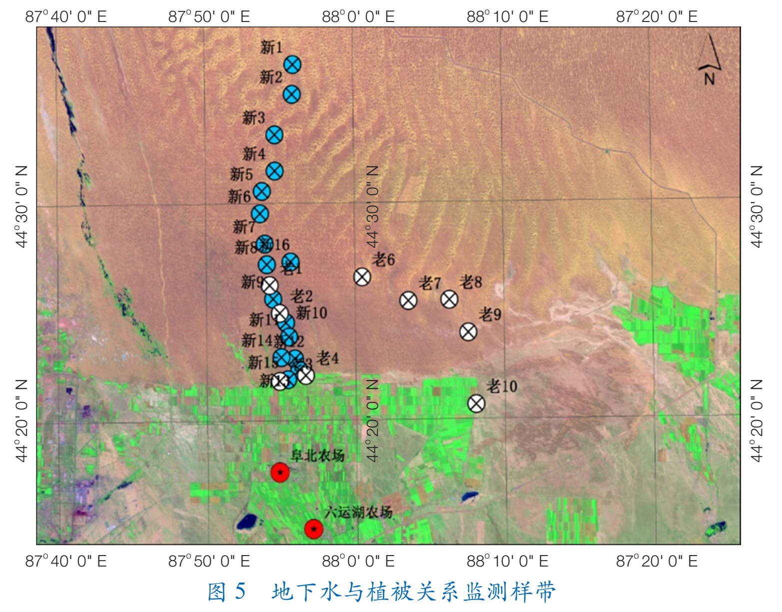


图 5　地下水与植被关系监测样带

Figure 5　Monitoring belt for relationship between groundwater and vegetation

3.3 沙漠内部降水与荒漠植被关系子平台

该子平台设置有长期遮雨和地下水交互控制试验平台、梭梭-白梭梭群落大样方监测试验平台，包含有透光遮雨棚、植被生长动态监测系统、定量遥感观测塔、雨量计、供水系统等。在沙漠腹地、非地下利用区的梭梭-白梭梭灌丛群落设置5个25 m×20 m透光遮雨棚，用于验证长期干旱对梭梭-白梭梭灌丛群落生长及生理的影响。长期遮雨和地下水交互样地，沿典型地下水位梯度，分别在地下水位3 m、8 m、12 m处设置9个降水遮除样方，每个遮除样方由2个20 m×20 m 的透光遮阳棚组成，在样地内安装1套土壤温、湿度自动测定仪，并在样方内设定5株监测标准木，以及5个1 m×1 m固定样方用于草本层监测，在每年生长峰值期用无人机监测各固定样方内植被生长状况（图6）。大样方，用优质塑钢网围封100 hm^2样地，其中25 hm^2系统布设成5 m×5 m样方，精确调查样方内每株植物的空间位置（图7）、地形情况，以及微地形水分、温度、光照等条件的改变，用以分析资源可利用性的空间异质性与群落动态的关系、长期植物种群变化与群落空间结构的关系。

4 科学研究成效和对绿洲-荒漠生态系统研究的支撑

绿洲-荒漠平台是荒漠植被长期演替、干旱区水文循环过程、绿洲农田土壤地力形成及其培育，以及温带荒漠生态系统健康等多学科基础研究、技术研发和示范的合作共享平台。该平台将成为我国温带荒漠区最重要的长期、复合及自动化监测的综合试验平台之一，为揭示荒漠区植被生存与维持机制、发展荒漠植被维持与恢复理论、构建荒漠生态系统碳氮循环模

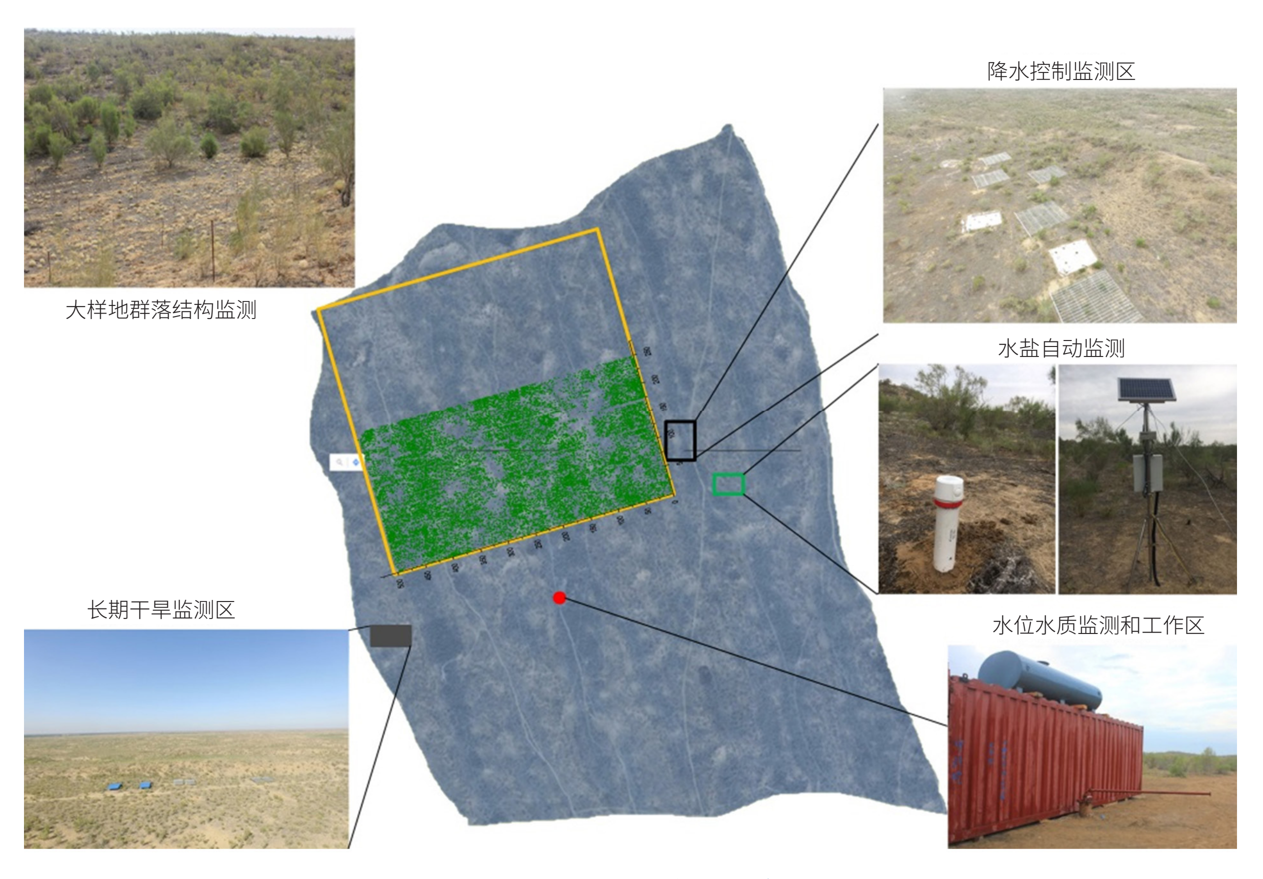


图6　梭梭-白梭梭群落大样方灌丛分布密度及仪器布置

Figure 6　Shrub distribution and corresponding monitoring instruments in sample plot

型、形成温带干旱区生态保护的技术范式等奠定相关基础。

4.1 科学研究成效

依托绿洲土壤盐分累积与淋洗效果子平台和沙漠边缘区地下水与植被关系子平台，初步在灌溉农业发展对绿洲-荒漠系统水文情势、土壤盐碱化和生态系统稳定性的影响方面取得了进展。相关研究已发表在国际水文学领域期刊 *Journal of Hydrology* 和生态环境领域期刊 *Science of the Total Environment* 上[11-13]。该系列研究进展可为旱区荒漠保育、绿洲节灌及水资源安全提供理论和应用基础。

利用绿洲土壤盐分累积与淋洗效果子平台和沙漠边缘区地下水与植被关系子平台，以荒漠主要优势灌木为研究对象，通过开展灌丛植物地上和地下功能性状对地下水环境变化的响应特征和适应机制研究，阐明了该区灌丛植物适应地下水位变化的水分利用调节机制，为准噶尔盆地退化荒漠生态系统的恢复和重建过程中的地下水管理和调控提供了理论基础。相关研究成果发表在 *Environmental and Experimental Botany*、*Plant and Soil* 等期刊[14,15]。平台还支撑了国家自然科学基金“古尔班通古特沙漠南缘荒漠植被对绿洲排水的依赖性研究”“两种梭梭属植物在极端干旱时的存活与死亡及其对相应群落的影响”，中国科学院前沿科学重点研究项目“荒漠灌丛生存机制与绿洲-荒漠共生关系研究”等项目的研究工作。预期在该平台支撑下，在不久的将来，可在荒漠灌丛植物幼苗更新定居机制、成年植物生存时限和死亡发生风险等方面取得更具突破性、创新性的研究进展。

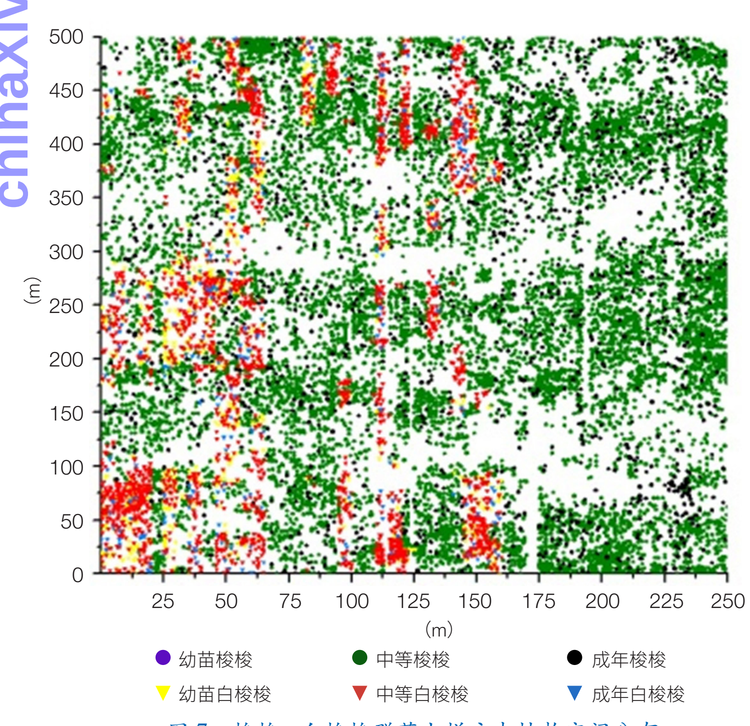


图 7　梭梭 - 白梭梭群落大样方内植物空间分布

Figure 7　Detailed distribution map of shrubs in sample plot

4.2 未来研究计划

以该平台为支撑，重点将开展 6 个方面的研究：

（1）温带原生荒漠生态系统植物多样性和稳定性对气候变化的响应机理；

（2）绿洲荒漠区碳、氮循环过程及其生物与非生物驱动机理；

（3）荒漠区植物根系功能及荒漠植物地上、地下生物过程的协调；

（4）荒漠植物/绿洲作物耐盐的生理生态基础与生存极限；

（5）绿洲-荒漠水分分配及区域盐分运移；

（6）荒漠区土壤水分变异与植被格局关系。

5 运行与管理办法

（1）运行机制。阜康站成立了荒漠-绿洲共生关系研究平台监管委员会，指导和管理平台的维护、运行与共享。该委员会由中国科学院新疆生态与地理研究所和阜康站的主要领导和相关专家组成；其主要职责是监督研究平台的正常运转，制订平台内各子平台观测项目标准，以及审核讨论利用平台开展非破坏性试验的项目和人员。平台的常规监测纳入阜康站日常监测项目。

（2）共享机制。研究平台实行开放共享制度，包括试验监测仪器设施及积累的观测数据。在平台产生

的数据使用上，拟搭建荒漠-绿洲共生关系研究平台的数据库，为广大研究人员提供数据服务，以达到对外开放、共享的目标。研究平台使用执行申请制度，申请人需向监管委员会提交研究申请，签署协议，承诺非破坏性使用、数据共享与保密、成果标注等。

参考文献

1 Dai Y, Zheng X J, Tang L S, et al. Stable oxygen isotopes reveal distinct water use patterns of two *Haloxylon* species in the Gurbantonggut Desert. Plant and Soil, 2015, 389(1-2): 73-87.

2 Wu Y, Zhou H, Zheng X J, et al. Seasonal changes in the water use strategies of three co-occurring desert shrubs. Hydrological Processes, 2014, 28(26): 6265-6275.

3 Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(7): 337-343.

4 Westoby M, Wright I J. Land-plant ecology on the basis of functional traits. Trends in Ecology and Evolution, 2006, 21(5): 261-268.

5 Niklas K J. The scaling of plant height: A comparison among major plant clades and anatomical grades. Annals of Botany, 1993, 72(2): 165-172.

6 Thomas S C. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. American Journal of Botany, 1996, 83(5): 556-566.

7 Díaz S, Kattge J, Cornelissen J H C, et al. The global spectrum of plant form and function. Nature, 2016, 529: 167-171.

8 Ryan M G, Yoder B J. Hydraulic limits to tree height and tree growth. Bioscience, 1997, 47(4): 235-242.

9 Zhang Y, Li Y, Xie J B. Fixed allocation patterns, rather than plasticity, benefit recruitment and recovery from drought in seedlings of a desert shrub. AoB Plants, 2016, 8: plw020.

10 Parker G A, Smith J M. Optimality theory in evolutionary biology. Nature, 1990, 348: 27-33.

11 Yin X W, Feng Q, Zheng X J, et al. Assessing the impacts of irrigated agriculture on hydrological regimes in an oasis-desert system. Journal of Hydrology, 2021, 594: 125976.

12 Yin X W, Feng Q, Zheng X J, et al. Spatio-temporal dynamics and eco-hydrological controls of water and salt migration within and among different land uses in an oasis-desert system. Science of the Total Environment, 2021, 772: 145572.

13 Yin X W, Feng Q, Li Y, et al. An interplay of soil salinization and groundwater degradation threatening coexistence of oasis-desert ecosystems. Science of the Total Environment, 2022, 806: 150599

14 Wu X, Zheng X J, Li Y, et al. Varying responses of two *Haloxylon* species to extreme drought and groundwater depth. Environmental and Experimental Botany, 2019, 158: 63-72.

15 Wu X, Zheng X J, Yin X W, et al. Seasonal variation in the groundwater dependency of two dominant woody species in a desert region of Central Asia. Plant and Soil, 2019, 444(1-2): 39-55.

（相关图片请见封三）

Experiment and Simulation Platform for Oasis-Desert Symbiotic Relationship (ODP)

LI Yan* ZHENG Xinjun WANG Yugang XU Guiqing LIU Ran

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract Junggar Basin is a typical arid inland region in the northern temperate zone of the Earth. The surrounding high mountains form runoff, which flows into the basin and develops oasis. Oasis and desert are interdependent. Oasis needs to leach out its naturally accumulated salts through drainage. This drainage provides water and nutrients to desert vegetation. Desert vegetation, in turn, provides an ecological protection for oasis. Hence, oasis and desert have a symbiotic relationship. With excessive exploitation of land and water resources with water-saving technologies, salts cannot be leached out of the oasis region anymore. As a result, the groundwater level has also dropped sharply, which has inevitably threatened the vegetation in the periphery of oasis, and the oasis-desert symbiotic relationship is facing a fundamental crisis. Funded by "the Key Infrastructure Project for the Field Station Network of Chinese Academy of Sciences (CAS)", Fukang Desert Ecosystem Observation and Experiment Station, CAS, built the "Experiment and Simulation Platform for Oasis-Desert Symbiotic Relationship", which consists of three sub platforms, namely: the sub-platform of soil salt accumulation and groundwater table simulation, the sub-platform of groundwater depth and vegetation relationship in the periphery of the desert, and the sub-platform of precipitation and vegetation relationship inside desert. The platform can meet the demands of the long-term studies of salt dynamics under different irrigation regimes in the oasis, the relationship between desert vegetation and groundwater level at the oasis edge, and the relationship between natural vegetation and precipitation change inside the desert. It provides an important infrastructure for studying and answering key scientific questions on the symbiotic relationship between oasis and desert ecosystems

Keywords oasis-desert, salt, groundwater table, desert vegetation, symbiotic relationship



李 彦 中国科学院新疆生态与地理研究所研究员。曾长期担任新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站站长。国家杰出青年科学基金获得者，中国生态学会理事。主要从事干旱区生态学、植物-水分关系等方面的研究工作。E-mail: liyan@ms.xjb.ac.cn

LI Yan Ph.D., Research Professor in Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (CAS), formerly director of the Fukang National Field Station of Desert Ecosystem Observation and Investigation. He was sponsored by the National Science Fund for Distinguished Young Scholars of National Natural Science Foundation of China, serves a member of the council for Chinese Society of Ecology. His researches mainly cover arid land ecology and plant-water relations. E-mail: liyan@ms.xjb.ac.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author